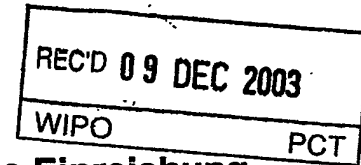


10/532454

PCT/DE/03/11653

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 49 338.3

Anmeldetag: 22. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: JENOPTIK LDT GmbH,
Gera/DE

Bezeichnung: Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf eine
Projektionsfläche und zugehörige Transformations-
optik

IPC: G 02 B, G 03 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 16. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Faust

Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf eine Projektionsfläche und zugehörige Transformationsoptik

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf eine Projektionsfläche, welches aus Bildpunkten aufgebaut ist, mit mindestens einer ein Lichtbündel aussendenden, in ihrer Intensität veränderbaren Lichtquelle und einer Ablenkeinrichtung, die das Lichtbündel auf die Projektionsfläche ablenkt, mit einer zweistufigen Transformationsoptik zwischen der Ablenkeinrichtung und der Projektionsfläche, die verzeichnungsfrei korrigiert ist.

Die Erfindung betrifft weiterhin optische Systeme zur Winkelveränderung eines einfallenden Lichtbündels, mit einer zweistufigen Transformationsoptik, die verzeichnungsfrei korrigiert sind.

Aus dem Stand der Technik sind Projektionssysteme zum Projizieren farbiger Bilder bekannt. Als Bildquellen stehen z.B. Computer-generierte Bilder oder Videoquellen zur Verfügung. Dabei kommen unterschiedliche Projektionstechnologien zur Anwendung.

In der DE 43 26 899 A1 wird ein Projektionssystem beschrieben, das zur Farbbilderzeugung drei CRT benutzt, jeweils eine für die Primärfarben Rot, Grün und Blau. Die auf den Oberflächen jeder der CRT erzeugten Bilder werden durch jeweils ein abbildendes optisches System auf eine Projektionsfläche abgebildet und dort überlagert. Ein Beobachter, der so steht, daß er den Lichtaustritt des Projektors sehen kann (das ist schon bei einer seitlichen Betrachtung des Projektors der Fall), erkennt drei farbige Flächen, die je nach dem Bildinhalt heller oder dunkler sind.

In der US 5,321,499 A wird ebenfalls ein Projektionssystem mit drei CRT beschrieben, deren erzeugte drei Teilbilder durch dichroitische Spiegel überlagert werden, so daß nur noch ein optisches System die Abbildung auf die Projektionsfläche vornimmt. Der Beobachter, der zwischen Projektor und Projektionsfläche steht, kann an dem Projektor eine farbige Fläche sehen, die mehrere Zentimeter im Durchmesser groß ist.

In der WO 96/12373 A1 wird zur Bilderzeugung eine Projektionslampe im Zusammenwirken mit einer durchleuchteten LCD-Matrix zur Bildmodulation benutzt. Die LCD-Matrix wird wiederum durch ein abbildendes optisches System mit einer Öffnung, deren Größe im Bereich mehrerer Zentimeter liegt, auf die Projektionsfläche abgebildet.

In der EP 0 734 184 A2 wird ein Projektionssystem beschrieben, welches mit drei LCD-Matrizen arbeitet, die in Reflexion betrieben werden. Auch hier ist eine den Gesetzen der Bildabbildung genügende Projektionsoptik notwendig, die, um entsprechend lichtstarke Bilder zu liefern, auch entsprechend groß im Durchmesser dimensioniert werden muß.

In der US 5,592,239 A wird eine Projektionsanordnung beschrieben, die zur Bildmodulation drei reflektierende Spiegelmatrizen benutzt. In gleicher Weise wie bei den schon beschriebenen Projektionsverfahren wird ein abbildendes optisches System zur Projektion auf die Projektionsfläche benutzt, dessen freier Lichtaustritt in der Größenordnung zwischen 5 cm und 10 cm groß ist.

Eine völlig andere Art der Bilderzeugung wird in der DE 43 24 849 A1 beschrieben. Bei dieser wird ein Projektionsverfahren mit einem direkt schreibenden Laserstrahl verwendet. Ein derartiger Projektor wird im Zusammenhang mit dieser Erfindung als Laserprojektor bezeichnet. Das dort beschriebene neuartige optische System dient nicht zur vergrößerten Abbildung eines im Projektor erzeugten internen kleinen primären Bildes, sondern zur Vergrößerung oder Verkleinerung der Ablenkwinkel der gescannten Laserstrahlen in horizontaler und vertikaler Richtung, die in das optische System eintreten. Die technischen Anforderungen an das optische System zur Ablenkwinkelveränderung sind im wesentlichen: Winkelvergrößerung, Schärfentiefe, geometrische und chromatische Abbildungsfehler, Transmission. Die Größe der Öffnung der winkelverändernden Optik liegt auch typischerweise im Bereich zwischen 5 cm bis 10 cm.

In der DE 195 22 698 A1 wird ein optisches System beschrieben, bei dem die Variation der Ablenkwinkel stetig erfolgen kann. Man hat hier eine Zoom-Funktion bezüglich der Ablenkwinkelvariation. Auf der Projektionsfläche ist damit die Bildgröße veränderbar. Auch hier ist die Öffnung der winkelverändernde Optik größer als 5 cm im Durchmesser.

Bei der Abbildung von Charts mit einem der vorstehend beschriebenen Projektionssysteme auf eine Auflichtprojektionsfläche ist der Projektor in Bezug auf den oder die Beobachter so angeordnet, daß die Beobachter keinen direkten Einblick in das abbildende optische System haben. Das aus dem Projektor austretende Streulicht wird nicht wahrgenommen, es stört die Wahrnehmung der Bildwiedergabe nicht. Völlig anders sind aber die Verhältnisse bei einer Projektion in einer Kuppel, bei der die Projektoren in dem Bereich der Kuppel angeordnet sind, der als Projektionsfläche dient.

Ein derartiges Projektionssystem ist in der US 3,687,530 A beschrieben. Fünf Projektoren sind unterhalb einer Äquatorialebene jeweils hinter der kugelförmigen Projektionsfläche angeordnet. Es sind dreieckförmige Fenster in der Projektionsfläche ausgebildet, welche die projizierten Teilbilder so beschneiden, daß diese auf der Projektionsfläche zu einem einheitlichen großen Bild zusammengefügt werden. Über die Größe der dreieckförmigen Öffnung ist in der US 3,687,530 A nichts ausgesagt. Diese muß aber auf Grund der Gesetzmäßigkeiten der vergrößernden optischen Abbildung und der hier vorgesehenen Bildbeschneidung auf jeden Fall zumindest in einer Richtung größer, als der freie Durchmesser der Projektionsoptik sein. Auf jeden Fall besteht hier die Möglichkeit, daß der Beobachter von seiner gewöhnlichen Position heraus ein oder mehrere optische Systeme in seinem Blickfeld hat. Bei Durchtritt des Lichtes durch eine Optik entsteht in jedem Fall, verstärkt durch Staub- und Schmutzpartikel, Streulicht. Dieses Streulicht wirkt beim Betrachten des projizierten Bildes störend. Insbesondere bei Bildinhalten mit Nachtszenen z.B. bei Flugsimulation, astronomische Projektionen u.ä., wird dieses Streulicht als sehr störend empfunden. Je ausgedehnter die Abmessungen der Objektive sind, die durch das Auge wahrgenommen werden können, um so störender wird das Streulicht.

Die Erfindung soll das Problem lösen, daß bei einer Projektionsanordnung, bei welcher ein Beobachter den Austritt der projizierten Lichtbündel aus dem Projektor wahrnehmen kann, die Größe der Lichtaustrittsöffnung gegenüber dem Stand der Technik drastisch reduziert werden kann.

Insbesondere sollen alle streuenden Flächen des optischen Systems zur Bildprojektion außerhalb des Sichtbereiches des Beobachters gebracht werden.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf eine Projektionsfläche, welches aus Bildpunkten aufgebaut ist, mit mindestens einer ein Lichtbündel aussendenden, in ihrer Intensität veränderbaren Lichtquelle und einer Ablenkeinrichtung, die das Lichtbündel auf die Projektionsfläche ablenkt, mit einer zweistufigen Transformationsoptik zwischen der Ablenkeinrichtung und der Projektionsfläche, die verzeichnungsfrei korrigiert ist.

Die Korrektur der Verzeichnungsfreiheit kann je nach Anwendungsfall zum Beispiel nach der Tangensbedingung oder der Winkelbedingung erfolgen.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsoptik aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, daß in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen, die Lage der Eintrittspupille vor dem ersten Linsenscheitel der Transformationsoptik liegt sowie die Lage der Austrittspupille der Transformationsoptik zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse und der Projektionsfläche liegt und, daß eine Blende in der Austrittspupille angeordnet ist. Die erfindungsgemäße Lösung ist für jede Art von Projektion, die mit einem schreibenden Lichtbündel arbeitet, anwendbar. Besonders vorteilhaft ist eine Lichtquelle, die Laserstrahlung aussendet. Projektoren, die mit Laserstrahlung arbeiten, sind auch unter dem Begriff Laserprojektor bekannt. Die erfindungsgemäße Lösung bringt vor allem dort Vorteile, wo der Beobachter zur Beobachtung des projizierten Bildes gleichzeitig in Richtung des Projektors sehen muß. Durch die Lage der Austrittspupille und die Anordnung der Blende in dieser, kann der Beobachter kein Streulicht wahrnehmen. Die vergleichsweise kleine Blendenöffnung dient als Durchtrittspunkt für das Lichtbündel, welches das Bild schreibt.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß die Blende einen freien Durchmesser hat, der einem Durchmesser des einfallenden Lichtbündels dividiert durch eine Winkelvergrößerung der Transformationsoptik entspricht. Zusätzlich sollte ein Korrekturfaktor zwischen 1 und 1,5 berücksichtigt werden, um Strahlbesneidungen an der Blende sicher und vollständig zu vermeiden. Wesentlich ist, daß bei einer Winkelvergrößerung >1 sich der Durchmesser der Blende proportional verkleinert. Bei einer Winkelvergrößerung <1 vergrößert sich der Durchmesser der Blende gegenüber dem Durchmesser des einfallenden Lichtbündels proportional, wobei die Blendenöffnung auch in diesen Fällen erheblich kleiner ist, als die Öffnung eines Objektives nach dem Stand der Technik. Der Beobachter kann sieht keine optische Fläche und somit auch kein Streulicht. In Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen ist die Blende nach dem letzten Linsenscheitel der Transformationsoptik angeordnet. Typisch liegt die Blende 1 cm bis 50 cm nach dem letzten Linsenscheitel, so daß nahezu allen baulichen Gegebenheiten, die ein Projektionssystem erfordert, erfüllt werden können. Die Blende kann in einem anderen Fall auch direkt auf der Fläche der - in Lichtrichtung gesehen letzten optischen Fläche der Transformationsoptik aufgebracht sein.

In einem Fall ist die Blende Teil eines Gehäuses der Transformationsoptik. In dem Gehäuse sind die Linsen der Transformationsoptik gefaßt. An einem Ende des Gehäuses ist der mechanische Anschluß an eine zweiachsige Ablenkeinrichtung. An einem anderen Ende des Gehäuses ist die Blende, die den Lichtaustritt für das abgelenkte Lichtbündel darstellt. In diesem Fall ist der Abstand der Blende vom letzten Linsenscheitel vorteilhafter Weise kleiner als 5 cm.

Eine andere Ausbildung der Erfindung besteht darin, daß die Blende in die Fläche einer Wand integriert ist und die Transformationsoptik mit der zugeordneten zweiachsigen Ablenkeinrichtung zu der Blende in der Wand positioniert wird. Die Lage der Blende in der Projektionsfläche ist somit so gestaltet, daß sich ein minimal möglicher Durchmesser der Öffnung in der Projektionswand ergibt.

Eine Weiterbildung der Erfindung besteht darin, daß die Wand mit einer Seite die Projektionsfläche bildet, der Projektor mit seiner Transformationsoptik auf einer gegenüberliegenden Seite angeordnet ist und die Blende in die Projektionsfläche eingearbeitet ist. Diese Anordnung ist insbesondere bei einer Zylinderprojektion oder bei einer Kuppelprojektion zweckmäßig. Die vergleichsweise kleine Blendenöffnung wird in den meisten Fällen nicht oder nur schwer wahrgenommen. Die auf der Projektionsfläche dargestellte Bildinformation wird möglichst wenig verfälscht.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein optisches System zur Winkelveränderung eines einfallenden Lichtbündels, mit einer zweistufigen Transformationsoptik, die verzeichnungsfrei korrigiert ist. Die Korrektur der Verzeichnungsfreiheit kann je nach Anwendungsfall zum Beispiel nach der Tangensbedingung oder der Winkelbedingung erfolgen.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsoptik aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, die in Lichtausbreitungsrichtung gesehen hintereinander angeordnet sind, und das Verhältnis der Brechkräfte der Teilsysteme die Winkelvergrößerung des abgelenkten Strahlenbündels bestimmt, wobei die Anordnung der Linsen im zweiten Teilsystem so gewählt ist, daß in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen, die Austrittspupille der Transformationsoptik zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse und der Projektionsfläche liegt. Diese Transformationsoptik liefert in Kombination mit der Blende in der Austrittspupille die oben beschriebenen Vorteile der Erfindung.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein optisches System zur Winkelveränderung eines einfallenden Lichtbündels, mit einer zweistufigen Optik zur Winkeltransformation, die verzeichnungsfrei korrigiert ist und deren Austrittspupille innerhalb der Linsen des optischen Systems liegt. Die Korrektur der Verzeichnungsfreiheit kann je nach Anwendungsfall zum Beispiel nach der Tangensbedingung oder der Winkelbedingung erfolgen.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Relaisoptik, die aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, in Lichtausbreitungsrichtung gesehen, hinter der Transformationsoptik angeordnet ist, wobei die Anordnung der Linsen im zweiten Teilsystem so gewählt ist, daß in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen, die Austrittspupille der Relaisoptik zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse und der Projektionsfläche liegt. Die Relaisoptik verändert den Betrag der Winkel der in diese einfallenden und austretenden Lichtbündel nicht, nur das Vorzeichen (Das ursprüngliche Bild ist seitenverkehrt und kopfstehend).

Der Einsatz der Relaisoptik ist dann besonders vorteilhaft, wenn vorhandene Optik zur Winkeltransformation mit der Relaisoptik und der Blende kombiniert wird, so daß mit dem Gesamtsystem die oben beschriebenen Vorteile der Erfindung erzielt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Figuren beschrieben.
Es zeigen

- Fig. 1: Anordnung eines Projektionssystems in einer Kuppel nach dem Stand der Technik
- Fig. 2: Anordnung eines Projektionssystems gemäß der Erfindung
- Fig. 3: Transformationsoptik gemäß der Erfindung
- Fig. 4: Optik zur Winkeltransformation gemäß dem Stand der Technik mit einer zusätzlicher Relaisoptik gemäß der Erfindung
- Fig. 5: Schema einer Relaisoptik
- Fig. 6: Projektor mit einer erfindungsgemäßen Transformationsoptik mit einer eingebauten Blende.

Fig. 1 zeigt ein Projektionssystem zur Bilddarstellung in einer Projektionskuppel 101 mit vier Projektoren 105 (drei sind in der Figur dargestellt) nach dem bekannten Stand der Technik. Die vier Projektoren 105 sind im Beispiel Laserprojektoren mit jeweils einer Transformationsoptik 109. Sie erzeugen vier Bilder, die auf einer Projektionsfläche 121 einer Wand 103 einer Kuppel so zusammengesetzt werden, daß ein ganzheitliches Bild entsteht. Der Beobachter 108 des Bildes sitzt innerhalb der Projektionskuppel 101 auf einer Zuschauertribüne 102, im Beispiel unterhalb einer Äquatorialebene 104. Die Projektoren 105 sind zur Wand 103 der Kuppel so angeordnet, daß diese unterhalb der Äquatorialebene jeweils 90° versetzt, vom Beobachter aus gesehen, hinter der Wand 103 in einer Ebene 106 angeordnet sind. Damit die Bilder von dem Standort der Projektoren 105 aus in die Projektionskuppel 101 hin projiziert werden können, sind in der Wand 103 Durchbrüche 107 vorhanden, die so groß dimensioniert werden, daß keine Bildbeschneidung erfolgt. Im Beispiel ist einer der Projektoren 105' so angeordnet, daß seine Transformationsoptik 109' in den Durchbruch 107' der Wand 103 hineinragt. Der Beobachter 108 kann bei dieser Anordnung der Projektoren 105 bei der Betrachtung des Bildes in der Projektionskuppel 101 direkt auf eine Lichtaustrittsöffnung der Transformationsoptik 109' sehen.

Da von der Lichtaustrittsöffnung - neben den Projektionsstrahlen - immer auch Streulicht ausgeht, nimmt der Beobachter an dieser Stelle der Projektionskuppel eine Bildinformation wahr, die im eigentlichen Bild nicht vorhanden ist.

Dieses Streulicht wirkt beim Betrachten des projizierten Bildes störend. Insbesondere bei Bildinhalten mit Nachtszenen, z.B. bei Flugsimulation, astronomische Projektionen u.ä. wird dieses Streulicht als sehr störend empfunden. Je ausgedehnter die Abmessungen der Objektive sind, die durch das Auge des Beobachters 108 wahrgenommen werden können, um so störender wird das Streulicht. Die Möglichkeit, die Projektoren 105 weiter von der Wand 103 entfernt aufzustellen, löst das Problem nicht, da mit dieser Maßnahme eine Vergrößerung des Durchbruches verbunden ist, was in Fig. 1 als Beispiel an Hand des Projektors 105'' mit seiner Transformationsoptik 109'' und dem vergleichsweise größeren Durchbruch 107'' dargestellt ist.

Vom Beobachter werden die gleichen störenden Bildinformationen an den Lichtaustrittsöffnungen der Transformationsoptik wahrgenommen, wenn die Projektoren 105 innerhalb der Projektionskuppel 101 stehen (nicht dargestellt). Genauso mangelhaft, wie beschrieben, sind die Verhältnisse bei bild-abbildenden Projektoren, die eine Projektionsoptik verwenden, z.B. CRT-, LCD- oder DMD-Projektoren.

Fig. 2 zeigt das erfindungsgemäße Projektionssystem zur Bilddarstellung in der Projektionskuppel 101 mit vier Projektoren 105 (drei sind in der Figur dargestellt). Die vier Projektoren 105 sind Laserprojektoren mit jeweils einer erfindungsgemäßen Transformationsoptik 109. Die Verwendung von Laserprojektoren, d.h. von Projektoren, die mit einem zweiachsig abgelenkten Lichtbündel arbeiten, ist eine Voraussetzung dafür, daß der Durchmesser der Durchbrüche 107 in der Wand 103 minimiert werden kann. Die Laserprojektoren bestehen aus einem Projektor 105 mit einer zweiachsigen Ablenkeinrichtung 112 und der Transformationsoptik 109 sowie einer Lichtquelle 122. Eine einzige Lichtquelle 122 ist im Beispiel von dem Ort der vier Projektoren 105 entfernt aufgestellt und über elektrische Kabel und optisch über Lichtleitfaserverbindungen 123 mit diesen verbunden. Derartige Laserprojektoren sind zum Beispiel in der DE 43 24 848 C1 beschrieben. Mit einem RGB-Laser als Lichtquelle 122 werden vier räumlich zusammengeführte und intensitätsmodulierte Rot-Grün-Blau-Lichtbündel erzeugt und mit jedem Projektor 105 werden farbige Bilder projiziert, die auf der Projektionsfläche 121 zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden.

Jeweils eine Lichtquelle 122 kann aber auch in jedem der Projektoren eingebaut sein (nicht dargestellt).

Die Projektoren 105 sind hier - vom Beobachter 108 aus gesehen - hinter der Wand 103 der Kuppel so angeordnet, daß eine Austrittspupille AP jeder Transformationsoptik 109 innerhalb der Durchbrüche 107 liegt. Die Durchbrüche haben hier selbst die Funktion einer Blende 111, deren Öffnung (freier Durchmesser für den Strahlengang des Projektionslichtes) typischerweise, abhängig von der Winkelvergrößerung und dem Strahldurchmesser des einfallenden Lichtbündels 113 im Bereich zwischen 1 bis 10 mm liegt. Gegenüber dem freien Durchmesser einer bekannten Projektionsoptik ist dies um den Faktor 10 bis 100 kleiner. Die Blende liefert kein Streulicht, so daß der Beobachter 108 beim Blick auf den Durchbruch 107 an dieser Stelle kein Licht wahrnimmt. Der Durchbruch mit der optischen Funktion einer Blende verhindert bei gebräuchlicher Position des Beobachters auch, daß der Beobachter 108 auf den - in Lichtausbreitungsrichtung gesehen - letzten Linsenscheitel der Transformationsoptik sehen kann. Dies ist nur dann nicht der Fall, wenn der Beobachter so positioniert ist, daß dieser nahe oder im Hauptprojektionsstrahl 110 des Projektors 105 seinen Augenpunkt hat. Diese Position ist aber praktisch aus Gründen der Gefahr gesundheitlich schädigender Strahlung ausgeschlossen.

Mit Hilfe der Erfindung gelingt es, bei einer Projektion ein Bild darzustellen, bei dem Streulicht der Transformationsoptik die Bilddarstellung nicht verfälscht oder qualitativ verschlechtert. Dies ist insbesondere bei Anwendungen der Projektionstechnik in einem Planetarium oder in einem Simulator zur Darstellung von Nachtszenen von Bedeutung. Projektoren können jetzt auch innerhalb der Projektionskuppel 101 angeordnet werden, ohne daß der Beobachter 108 eine merkliche Störung der Bildinformation feststellt.

Fig. 3 zeigt das Optikschemata der erfindungsgemäßen Transformationsoptik, die in einer Anordnung gemäß Fig. 2 eingesetzt wird. Mit den Ziffern 1 bis 14 sind die optischen Flächen bezeichnet. Ein erstes Teilsystem hat die optischen Flächen 2 bis 6 und ein zweites Teilsystem hat die optischen Flächen 7 bis 13. Eine Transformationsoptik mit einer Winkelvergrößerung zweifach hat zum Beispiel folgenden Aufbau:

Fläche	Radius/mm	Dicke/mm	Glas (n; v)	Bemerkung
1	∞	40.936		Dicke = Abstand EP vom ersten Linsenscheitel
2	140.69	16.74	1.589; 61.3	
3	-28.62	5.23	1.672; 32.3	
4	-163.91	0.52		
5	93.79	9.94	1.713; 53.8	
6	∞	89.20		
7	-50.16	5.44	1.717; 29.5	
8	32.29	14.36	1.552; 63.5	
9	-40.94	0.84		
10	48.32	10.72	1.518; 65.1	
11	-126.80	0.84		
12	47.65	10.72	1.518; 65.1	
13	214.59	45.34		Dicke = Abstand letzter Linsenscheitel - AP
14	∞	Projektionsfläche		kollimiertes Lichtbündel

Das Optikschemata besteht aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft. Das Verhältnis der Brechkraften bestimmt die Winkelvergrößerung des abgelenkten Strahlenbündels. Die Transformationsoptik ist für die Wellenlängen der Lichtbündel 113, 114 in den drei Primärfarben Rot, Grün und Blau farbkorrigiert und eignet sich für die Farbbilddarstellung. In der Eintrittspupille EP (Fläche 1) ist die zweiachsig arbeitende Ablenkeinrichtung 112 mit einem Abstand von 40,936 mm vor dem Linsenscheitel der optischen Fläche 2 positioniert, welche das einfallende Lichtbündel 113 in Zeilenrichtung und Bildrichtung ablenkt. Eine erste Stufe der Transformationsoptik 109 wird durch die optischen Flächen 2 bis 7 gebildet. Abgelenkte Lichtbündel 114 erzeugen ein Zwischenbild in einer Zwischenbildebene ZBE, die zwischen dem ersten optischen System und einem zweiten optischen System liegt. Das zweite optische System ist durch die optischen Flächen 7 bis 13 bestimmt. Die beiden optischen Systeme sind so dimensioniert, daß eine Austrittspupille AP (Fläche 14) des Gesamtsystems 45,34 mm nach dem - in Lichtausbreitungsrichtung gesehen - letzten Linsenscheitel (der optischen Fläche 13) gelegen ist. In dem Ort der Austrittspupille AP ist die Blende 111 angeordnet, deren Durchmesser so groß gewählt ist, daß keiner der abgelenkten Lichtbündel 114 beschnitten wird. Im Beispiel hat das einfallende Lichtbündel 113 einen Strahldurchmesser von 5 mm und die Blende 111 einen freien Durchmesser von 2,7 mm und eine Winkelakzeptanz des abgelenkten Lichtbündels von $\pm 10^\circ$.

Der Korrekturfaktor ist hier 1,08 und berücksichtigt die Divergenz des Lichtbündels sowie die Tatsache, daß die Eintrittspupille EP bei der zweiachsig arbeitenden Ablenkeinrichtung 112, die aus zwei aneinander gebauten Ablenkspiegeln für jeweils eine der Achsen besteht, exakt nur an einem Ort auf einem der Spiegel oder zwischen den Spiegel liegen kann (siehe dazu auch Fig. 6).

Die Projektionsfläche 121 ist nur angedeutet gezeichnet, da diese mehrere Meter von der Blende 111 entfernt angeordnet ist.

Die beschriebene Lösung ist nur eine von vielen Möglichkeiten, die Austrittspupille AP zwischen den letzten Linsenscheitel 14 der Transformationsoptik 109 und die Projektionsfläche 121 zu legen.

Das beschriebene Beispiel kommt mit einem vergleichsweise geringem Aufwand aus. Es sind jedoch weitere Lösungen, die zum Beispiel mit mehreren Zwischenbildern arbeiten, möglich.

Der Optikfachmann kann mit Kenntnis der vorliegenden Erfindung und entsprechenden Rechenprogrammen ohne Schwierigkeiten alternative optische Systeme berechnen und herstellen.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Beispiel zur Realisierung der Erfindung. Hier ist zu einer an sich bekannten Optik zur Winkeltransformation 115, die nach der Tangensbedingung korrigiert ist, z.B. gemäß der DE 43 24 849 A1, erfindungsgemäß eine Relaisoptik 116 zugeordnet. Die Relaisoptik 116 ist - in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen - zu der Optik zur Winkeltransformation 115 so angeordnet, daß die Austrittspupille der Optik zur Winkeltransformation AP_{WT} gleich der Eintrittspupille der Relaisoptik EP_{Rel} ist. Diese Pupillen liegen hier an einem Ort innerhalb der Linsen Optik zur Winkeltransformation 115. Die zweiachsige Ablenkeinrichtung 112 liegt im Ort der Eintrittspupille EP_{WT} der Optik zur Winkeltransformation 115.

Die Relaisoptik 116 dient zur Pupillentransformation und ist hier nur als Eratzsystem mit ihren Hauptebenen H und H' dargestellt. Die Relaisoptik 116 verlagert die Austrittspupille AP_{WT} der Optik zur Winkeltransformation 115 an den Ort der Blende 111. Die Blende 111 ist in diesem Beispiel in die Wand 103 eingearbeitet, welche die Projektionsfläche 121 bildet.

Der Einsatz einer Relaisoptik 116 zur Pupillentransformation hat den Vorteil, daß eine herkömmliche Optik zur Winkeltransformation für Anwendungen im Planetarium oder Simulator Anwendung finden kann, ohne die bekannten Nachteile bei der Bilddarstellung aufzuweisen. Es hat sich gezeigt, daß sich die Qualität der Abbildung durch die zusätzliche Relaisoptik 116 nur unwesentlich verschlechtert.

Fig. 5 zeigt eine Relaisoptik 116, die für ein monochromes Lichtbündel gerechnet ist. Die Winkelakzeptanz der Relaisoptik ist maximal $\pm 30^\circ$ bezogen auf das abgelenkte Lichtbündel 114. Für die Bildprojektion mittels Laserstrahlung liegt der Durchmesser eines kollimierten Lichtbündels typisch im Bereich zwischen 1 mm bis 10 mm. Die Eintrittspupille der Relaisoptik EP_{Rel} liegt in diesem Beispiel 32,73 mm vor dem ersten Linsenscheitel 2 der Relaisoptik. Eine nicht dargestellte, vorgeschaltete Optik zur Winkeltransformation hat ihre Austrittspupille AP_{WT} an dieser Stelle.

Die nachfolgende Tabelle liefert die optischen Parameter:

Fläche	Radius	Dicke	Glas		Bemerkung
			n	v	
1	∞	32.73			Abstand $AP_{WT} = EP_{Rel}$ bis zum 1. Linsenscheitel der Relaisoptik
2	-16.00	22.00	1.62	60.32	
3	-33.22	1.00			
4	-75.97	18.00	1.62	60.32	
5	-58.21	1.00			
6	-198.91	18.00	1.62	60.32	
7	-97.14	1.00			
8	950.11	22.00	1.62	60.32	
9	-194.00	367.58			
10	194.00	22.00	1.62	60.32	
11	-950.11	1.00			
12	97.14	18.00	1.62	60.32	
13	198.91	1.00			
14	58.21	18.00	1.62	60.32	
15	75.97	1.00			
16	33.22	22.00	1.62	60.32	
17	16.00	32.73			Abstand letzter Linsenscheitel bis zur $AP_{Rel} = AP$ des Gesamtsystems
18	∞		Projektionsfläche		kollimiertes Lichtbündel

Die Austrittspupille der Relaisoptik AP_{Rel} liegt in diesem Beispiel 32,73 mm nach dem letzten Linsenscheitel Fläche 17 der Relaisoptik 116. In diesem Ort ist die Blende 111 angeordnet. Da der Betrag der Winkelvergrößerung der Relaisoptik gleich Eins ist, ist der Durchmesser der Blende einige zehntel Millimeter größer als der Durchmesser des kollinearen abgelenkten Lichtbündels 114.

Fig. 6 zeigt eine weitere Ausführung der Erfindung an einem einzelnen Projektor. Dieser ist zum Beispiel Teil des Projektionssystems nach Fig. 2. Er kann jedoch auch als einzelner Projektor eingesetzt werden, wenn der Vorteil zur Anwendung kommen soll, daß der Lichtaustritt des Projektionslichtes aus dem Projektor nicht erkennbar sein soll. Die zweiachsige Ablenkeinrichtung 112 besteht aus einem Polygonscanner 117 und einem Galvanometerscanner 118. Ein Gehäuse der Ablenkeinrichtung 119 hat einen mechanischen Anschluß für ein Gehäuse der Transformationsoptik. Die Eintrittspupille EP der Transformationsoptik 109 liegt hier nahe der Drehachse des Galvanometerscanners 118. Die Strahlablenkung des Polygonscanners erfolgt nicht in der Eintrittspupille, was eine Strahldeformation, ein elliptisches Strahlprofil zur Folge hat. Die Blende ist daher um den Faktor 1,2 größer als der Strahldurchmesser des einfallenden Lichtbündels 113 dividiert durch die Winkelvergrößerung der Transformationsoptik. Hier ist die Blende 111 mit in ein Gehäuse 120 der Transformationsoptik 109 eingebaut. Das Gehäuse 120 steckt hier in dem Durchbruch 107 und ragt durch die Wand 103 hindurch. Ein derartiger Projektor kann aber auch frei in einem Raum aufgestellt werden, in dem projiziert wird, und hat dann ebenfalls genau die oben beschriebenen Vorteile.

Bezugszeichen

1 bis 18

optische Flächen

EP	Eintrittspupille der Transformationsoptik
AP	Austrittspupille der Transformationsoptik
ZBE	Zwischenbildebene
EP _{WT}	Eintrittspupille der Optik zur Winkeltransformation
AP _{WT}	Austrittspupille der Optik zur Winkeltransformation
EP _{Rel}	Eintrittspupille der Relaisoptik
AP _{Rel}	Austrittspupille der Relaisoptik
101	Projektionskuppel
102	Zuschauertribüne
103	Wand
104	Äquatorialebene
105	Projektor
106	Ebene
107	Durchbruch
108	Beobachter
109	Transformationsoptik
110	Hauptprojektionsstrahl
111	Blende
112	zweiachsig arbeitende Ablenkeinrichtung
113	einfallendes Lichtbündel
114	abgelenkte Lichtbündel
115	Optik zur Winkeltransformation
116	Relaisoptik
117	Polygonscanner
118	Galvanometerscanner
119	Gehäuse der Ablenkeinrichtung
120	Gehäuse der Transformationsoptik
121	Projektionsfläche
122	Lichtquelle
123	elektrische Kabel und optische Lichtleitfaserverbindung

Patentansprüche

1. Anordnung zum Projizieren eines Farbvideobildes auf eine Projektionsfläche (121), welches aus Bildpunkten aufgebaut ist, mit mindestens einer ein Lichtbündel (113) aussendenden, in ihrer Intensität veränderbaren Lichtquelle (122) und einer Ablenkeinrichtung (112), die das Lichtbündel (113) auf die Projektionsfläche ablenkt, mit einer zweistufigen Transformationsoptik (109) zwischen der Ablenkeinrichtung (112) und der Projektionsfläche (121), die verzeichnungsfrei korrigiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Transformationsoptik (109) aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, daß in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen, die Lage der Eintrittspupille EP vor dem ersten Linsenscheitel (2) der Transformationsoptik (109) liegt sowie die Lage der Austrittspupille AP der Transformationsoptik zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse (14) und der Projektionsfläche (121) liegt und, daß eine Blende (111) in der Austrittspupille (AP) angeordnet ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Blende (111) einen freien Durchmesser hat, der einem Durchmesser des einfallenden Lichtbündels dividiert durch eine Winkelvergrößerung der Transformationsoptik (109) entspricht und ein Korrekturfaktor zwischen 1 und 1,5 groß ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Blende (111) Teil eines Gehäuses (120) der Transformationsoptik (109) ist.

4. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Blende (111) in die Fläche einer Wand (103) integriert und die Transformationsoptik (109) zu dieser Wand (103) positioniert ist.

5. Anordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wand (103) die Projektionsfläche (121) ist.

6. Optisches System zur Winkelveränderung eines einfallenden Lichtbündels (113), mit einer zweistufigen Transformationsoptik (109), die verzeichnungsfrei korrigiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Transformationsoptik (109) aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, die in Lichtausbreitungsrichtung gesehen hintereinander angeordnet sind, und das Verhältnis der Brechkräfte der Teilsysteme die Winkelvergrößerung des abgelenkten Strahlenbündels bestimmt, wobei die Anordnung der Linsen im zweiten Teilsystem so gewählt ist, daß - in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen - die Austrittspupille AP der Transformationsoptik (109) zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse und der Projektionsfläche (121) liegt.

7. Optisches System zur Winkelveränderung eines einfallenden Lichtbündels, mit einer zweistufigen Optik zur Winkeltransformation (115), die verzeichnungsfrei korrigiert ist und deren Austrittspupille AP_{WT} innerhalb der Linsen des optischen Systems liegt, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Relaisoptik (116), die aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, in Lichtausbreitungsrichtung gesehen, hinter der Optik zur Winkeltransformation (115) angeordnet ist, wobei die Anordnung der Linsen im zweiten Teilsystem so gewählt ist, daß in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen, eine Austrittspupille AP_{Rel} der Relaisoptik (116) zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse der Relaisoptik (116) und der Projektionsfläche (121) liegt.



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

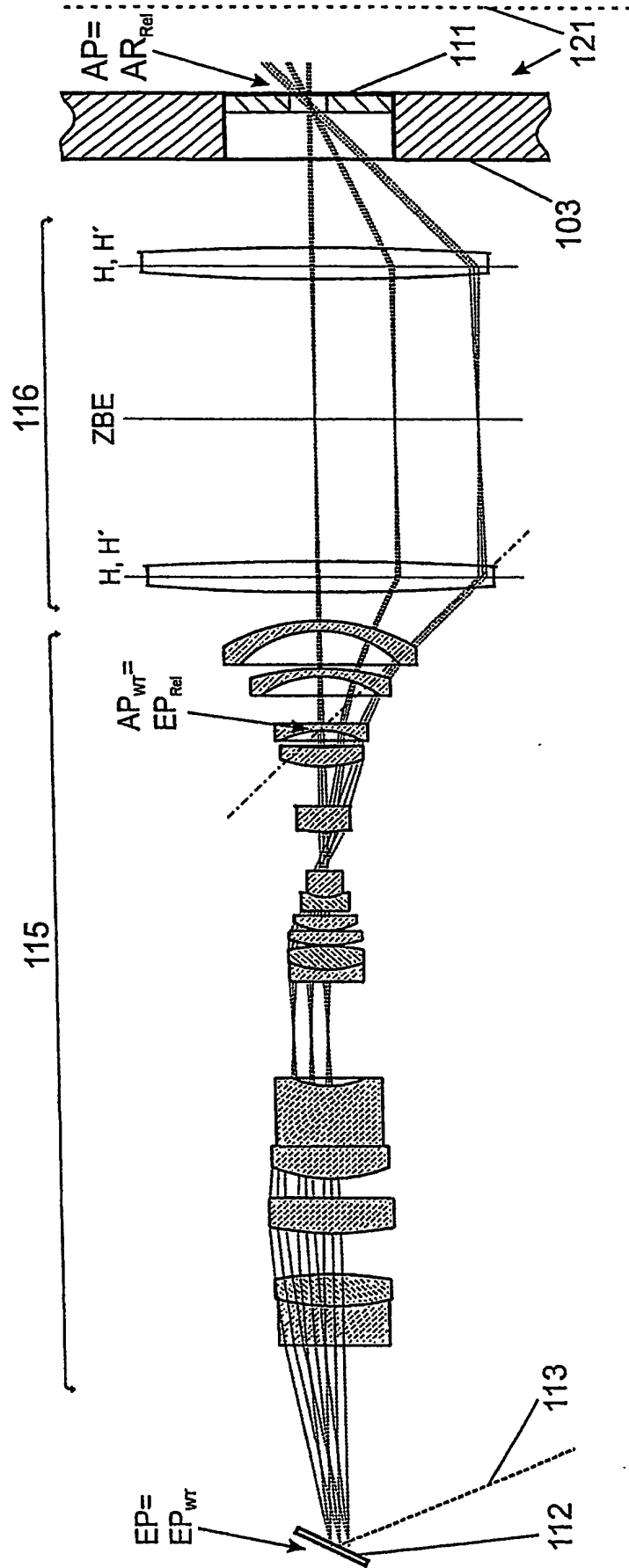


Fig. 4

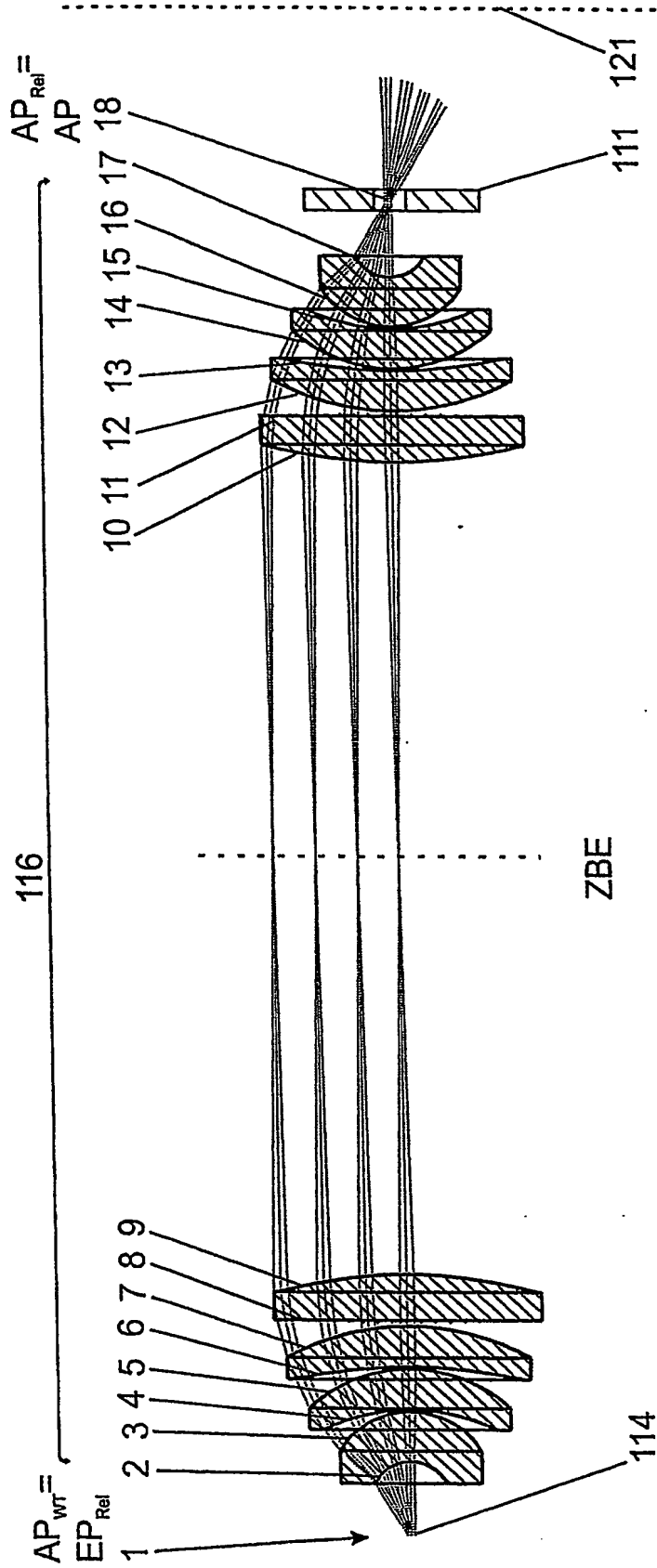


Fig. 5

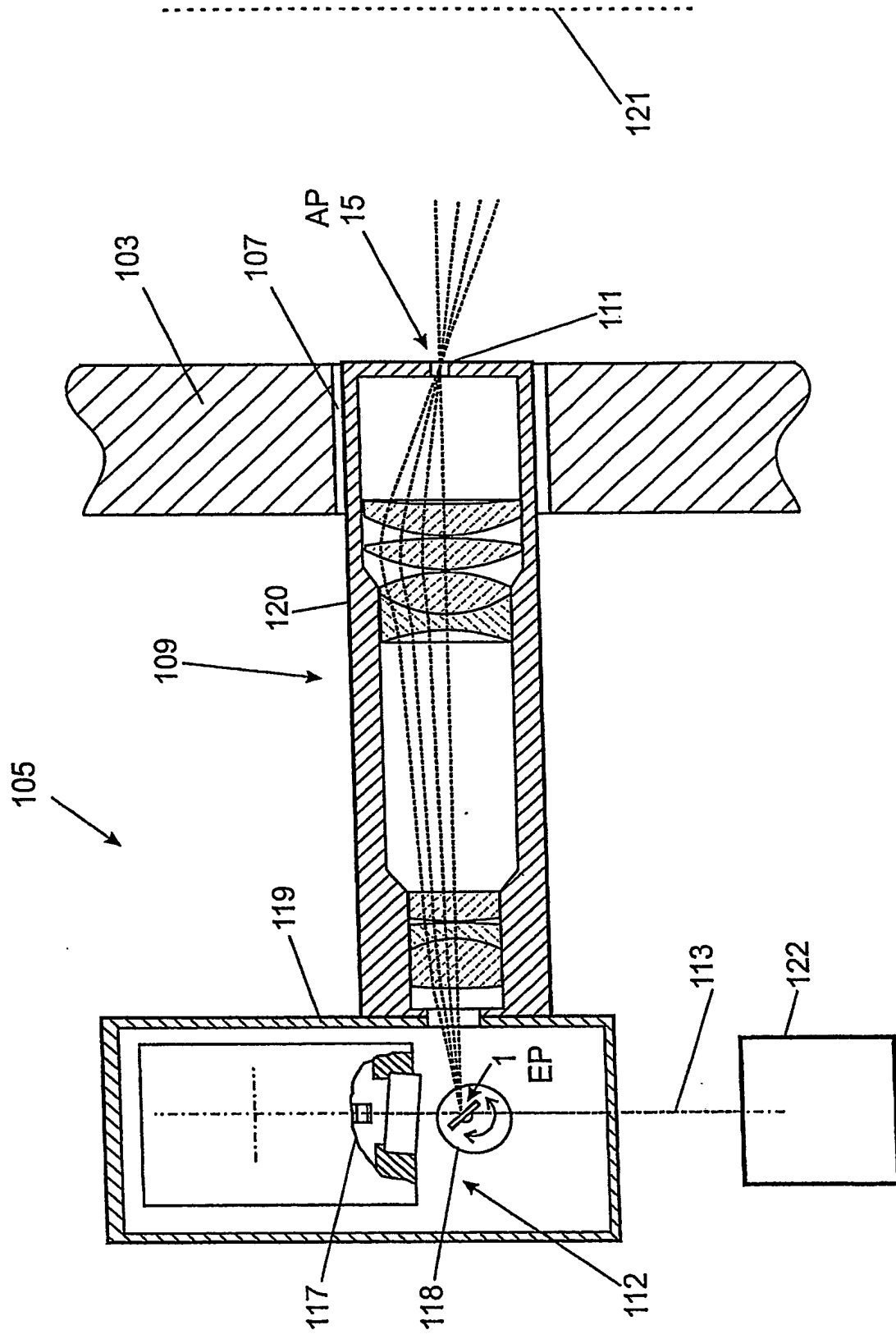


Fig. 6

Zusammenfassung

Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf eine Projektionsfläche und zugehörige Transformationsoptik

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf eine Projektionsfläche, welches aus Bildpunkten aufgebaut ist, mit mindestens einer ein Lichtbündel aussendenden, in ihrer Intensität veränderbaren Lichtquelle und einer Ablenkeinrichtung, die das Lichtbündel auf die Projektionsfläche ablenkt, mit einer zweistufigen Transformationsoptik zwischen der Ablenkeinrichtung und der Projektionsfläche, die verzeichnungsfrei korrigiert ist.

Die Erfindung betrifft weiterhin optische Systeme zur Winkelveränderung eines einfallenden Lichtbündels, mit einer zweistufigen Transformationsoptik, die verzeichnungsfrei korrigiert sind.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsoptik (109) aus zwei Teilsystemen positiver Brechkraft besteht, daß in Ausbreitungsrichtung des Lichtes gesehen, die Lage der Eintrittspupille EP vor dem ersten Linsenscheitel (2) der Transformationsoptik (109) liegt sowie die Lage der Austrittspupille AP der Transformationsoptik zwischen dem Linsenscheitel der letzten Linse (14) und der Projektionsfläche (121) liegt und, daß eine Blende (111) in der Austrittspupille (AP) angeordnet ist.
(Fig. 6)

